

УДК 614.84

М. О. МАКСИМОВА, І. П. ГРЕЧКА

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ВІДБИВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ПРОМЕНЕВОГО ОПАЛЕННЯ ДЛЯ ЗАПОБІГАННЯ ПЕРЕГРІВУ ПОВЕРХНІ ТЕПЛОПРИЙМАЧА

Розглянуто рішення прямої задачі променевої теплопередачі для досягнення рівномірного нагріву поверхні шляхом моделювання перебігу відбитих теплових променів. Наведено результати роботи програми моделювання відбитих променів та їх аналіз. Встановлено параметри відбивальної системи у залежності від відомої форми відбивача. Також розглянуто перспективи подальших досліджень, які пов'язані з проектуванням систем променевого опалення за заданими вимогами.

Ключові слова: теплове випромінювання, рівномірний нагрів, відбивач, інтенсивність теплового потоку, променеве опалення.

Вступ. При розробці проектів променевого опалення промислових приміщень виникає задача, що пов'язана з досягненням рівномірного нагріву поверхні теплоприймача. Одним із можливих шляхів реалізації такої вимоги є моделювання перебігу відбитих теплових променів від поверхонь, що мають відбиваючі властивості. Вибір форми відбивача суттєво зв'язаний із технологічними можливостями його виробництва.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У попередніх дослідженнях [1, 2] показано, що деякі поверхні (зокрема циліндричні та синусоїдальні) можуть бути застосовані як відбивачі, але технологічними є такі, що мають синусоїдальну утворюючу [3]. Тому вибір геометричних параметрів поверхні, випромінювача та їх взаєморозташування є проблемою.

Постановка задачі. Метою цього дослідження є вибір параметрів відбивача листа та розташування випромінювача відносно нього.

Основна частина. Опалювання високих і великих за площею приміщень традиційним теплоповітряним способом є неекономічним, оскільки велика частина нагрітого повітря піднімається вгору, що приводить до додаткової втрати тепла через верхні перекриття, стіни, світлові отвори і ліхтарі.

Інфрачервоний випромінювач (ІКНГ) є *u*-образною трубою, з одного боку якої встановлений пальник, з другого боку витяжний вентилятор. Над трубою кріпиться відбивач з алюмінію. Принцип дії випромінювача полягає в тому, що гарячі продукти згорання газу, проходячи усередині труб, нагрівають їх до високої температури. Нагріті труби випромінюють тепло, яке відбивач спрямовує в робочу зону.

Якщо близько сидіти, то зігрітися можна, але з одного боку. Причому можна і перегрітися. Передбачається, що конструкція нагрівального елемента (за твердженням виробників) розроблена так, що унеможливує спалах предметів, що знаходяться в приміщенні. Прилади інфрачервоного опалювання входять в категорію «В» по протипожежній безпеці. При правильному розрахунку потужності, предмети, що знаходяться в приміщенні, нагріваються під впливом випромінювання до 25–27 °С залежно від теплопровідності. Але доводиться зустрічатися з думкою, що нагрів навіть до такої мирної температури не є безпечний для обладнання та

комфорту людини. Як зробити випромінювання м'якшим, розсіяним, комфортним? Розподілити потік випромінювання по поверхні допомагають оптичні відбивачі.

Як джерело нагрівання у системі поверхонь будемо використовувати генератор випромінювання, а як приймач тепла оберемо смугу на площині. При цьому передбачається, що елементи теплопередачі необмежені у напрямку нормалі площини рисунка.

Необхідно визначити форму і розташування щодо нагрівача профілю циліндричного рефлектора, наявність якого забезпечила б рівномірне нагрівання теплоприймача.

Для розв'язання задачі природно вважати, що кількість теплової енергії, що досягає теплоприймача, складається з двох частин: тієї її частини E_1 , що надходить від генератора, а також частини теплової енергії E_2 , що надходить до теплоприймача після відбиття від рефлектора.

Парадигмою даного геометричного метода вважаємо, що кожний промінь є носієм теплової енергії, і мірою теплового потоку є кількість променів у одиниці об'єму.

Для вирішення поставленої задачі спочатку опишемо промені, що відбиті кривою.

Нехай маємо криву $y = f(x)$ і джерело променів у точці $S(x_0, y_0)$. Точку падіння променя на криву позначимо як $M(z, f(z))$, де z – параметр. Також позначимо $m = -f'(x)$ і

$$k = \frac{(x_0 - z)m + y_0 - f(z)}{m^2 + 1}.$$

Твердження. Точки $S(x_0, y_0)$ і $K(x_2, y_2)$ будуть розташовані симетрично відносно нормалі $\frac{X - z}{m} = Y - f(z)$ до кривої у точці M тоді, коли будуть виконуватися співвідношення

$$x_2 = 2z - x_0 + 2km; \quad (1)$$

$$y_2 = 2f(z) - y_0 + 2k. \quad (2)$$

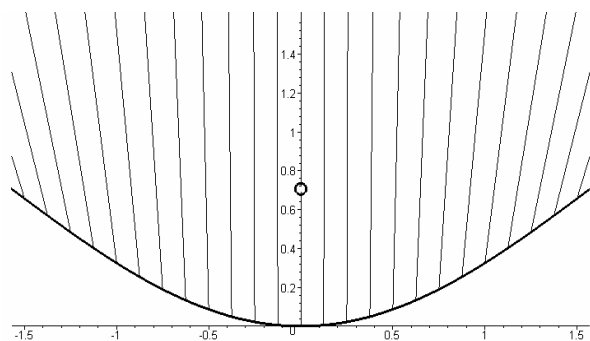
Твердження. Координати будь-якої точки на відбитому промені (в залежності від «відстані – часу» t) мають вигляд

$$X(z) = z + \frac{(x^2 - z)(t - d_{01})}{d_{02}}; \tag{3}$$

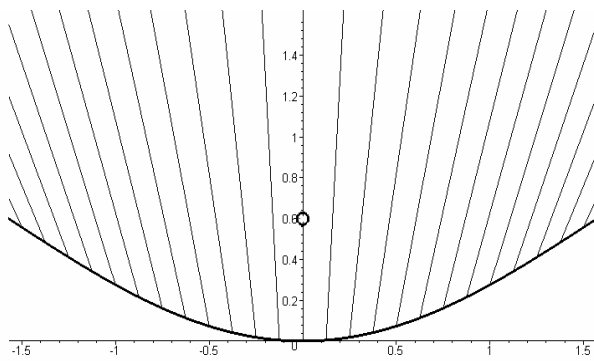
$$Y(z) = f(z) + \frac{(y_2 - f(z))(t - d_{01})}{d_{02}}. \tag{4}$$

Тут $d_{01} = \sqrt{(x_0 - z)^2 + (y_0 - f(z))^2}$,
 $d_{02} = \sqrt{(x_2 - z)^2 + (y_2 - f(z))^2}$.

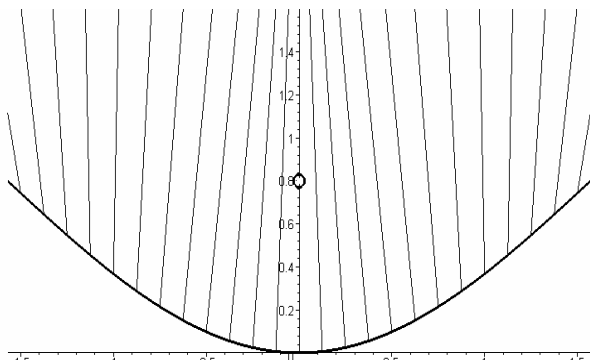
Використовуючи ці співвідношення була написана програма для моделювання променів відбитих від синусоїди (рис. 1).



а



б



в

Рис. 1 – Моделювання променів відбитих від синусоїди $y = k(1 - \cos x)$: а – $k = 0,7$; б – $k = 0,6$; в – $k = 0,8$

Така форма відбивача обрана тому, що саме форми синусоїди набуває профіль згину металевого листа, якщо його згинати двома подовжніми силами [3].

Під час комп'ютерних експериментів з відбивальними системами було встановлено, що відбиті промені утворюють нові геометричні об'єкти, які мають назву катакаустика.

Строго визначити катакаустика можна як обвідну сім'ї відбитих прямих. Зауважимо, що характерною властивістю катакаустики є точка повернення обвідної. Було встановлено, що точка джерела променів і точка повернення обвідної підпорядковані методу оберненого променя і є двоїстими (рис. 2) [4–6].

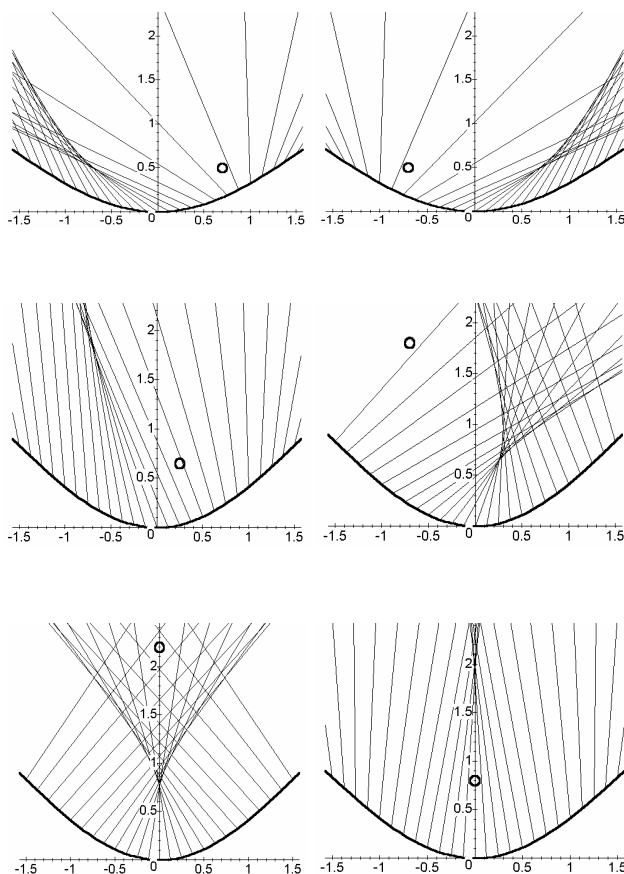


Рис. 2 – Точки повернення катакаустики для різних форм кривої

Для того, щоб знайти двоїстість необхідно описати катакаустика. Враховуючи те, що вона є обвідною відбитих прямих, для її опису необхідно було скласти рівняння сім'ї відбитих променів.

Твердження. Якщо джерело розташовано в точці $S(x_s, y_s)$, то маємо рівняння сім'ї променів, відбитих кривою L (α – це є кут між віссю Ox та дотичною до L : $y = f(x)$ у т. $M(z, f(z))$).

$$\Phi(x, y, z) \equiv (y - f(z))(1 + \operatorname{tg} 2\alpha \frac{f'(z) - y_s}{z - x_s}) - (x - z) \times$$

$$\times (\operatorname{tg} 2\alpha - \frac{f(z) - y_s}{z - x_s}) = 0. \quad (5)$$

Твердження. Якщо точка S є невласною, і напрям падаючих променів визначаються вектором $e\{m, n\} (m^2 + n^2 = 1)$, то маємо

$$\begin{aligned} \Phi(x, y, z) \equiv & (y - f(z))(1 + \frac{n}{m} \operatorname{tg} 2\alpha) - \\ & - (x - z)(\operatorname{tg} 2\alpha - \frac{n}{m}) = 0. \end{aligned} \quad (6)$$

Для опису обвідної сім'ї променів, що виходять з точки S як джерела променів, і відбитих гладкою ділянкою кривої L , необхідно вилучити параметр z із системи нелінійних рівнянь.

$$\Phi(x, y, z) = 0; \quad \Phi'_z(x, y, z) = 0.$$

Як приклад наведено рішення цієї задачі у випадку, коли точка S є невласною. Якщо задана крива $y = f(x)$ і падаючі промені спрямовані вздовж вектора $e\{m, n\}$, то маємо опис катакастики:

$$\begin{aligned} x(z) = & z - \frac{[n - mf'(z)]^2 f'(z)}{2f''(z)} + \\ & + \frac{(n - mf'(z))(m + nf'(z))}{2f''(z)}; \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} y(z) = & f(z) + \frac{[n - mf'(z)]^2}{2f''(z)} - \\ & - \frac{(n - mf'(z))(m + nf'(z))f'(z)}{2f''(z)}. \end{aligned} \quad (8)$$

Використовуючи формули (7) і (8) були отримані обвідні променів, відбитих від синусоїди $y = k(1 - \cos x)$ в залежності від її кривизни (k) (рис. 3).

Аналізуючи зображення можна зробити висновок, якщо джерело променів розташувати у точці повернення обвідної, то завдяки двоїстості відбиті промені сфокусуються у невласній точці.

З технологічних міркувань для нас має інтерес випадок коли $k = 0,7$ (1). Якщо джерело випромінювання розмістити в точці повернення обвідної, то відбиті синусоїдою $y = 0,7072(1 - \cos x)$ промені будуть спрямовані «майже паралельно» вздовж осі Oy , причому, ордината джерела променів буде на рівні кінців фрагмента синусоїди.

За умови виконання цього твердження та використовуючи наведені нижче співвідношення (9) і (10) була розроблена програма обчислення довжини згину S та висоти згину H в залежності від довжини L металевго листа.

Довжина L^* синусоїди $y = k(1 - \cos x)$ на проміжку $-\pi/2 \dots \pi/2$ дорівнює значенню

$$L^* = 2 \int_0^{\pi/2} \sqrt{1 + x^2 \sin^2 k^2} dx. \quad (9)$$

Обчислимо довжину згину S листа за умови, що k та L є відомими. Для цього необхідно розв'язати інтегральне рівняння відносно S за сталими k і L .

$$L = 2 \int_0^{s/2} \sqrt{1 + x^2 \sin^2 k^2} dx. \quad (10)$$

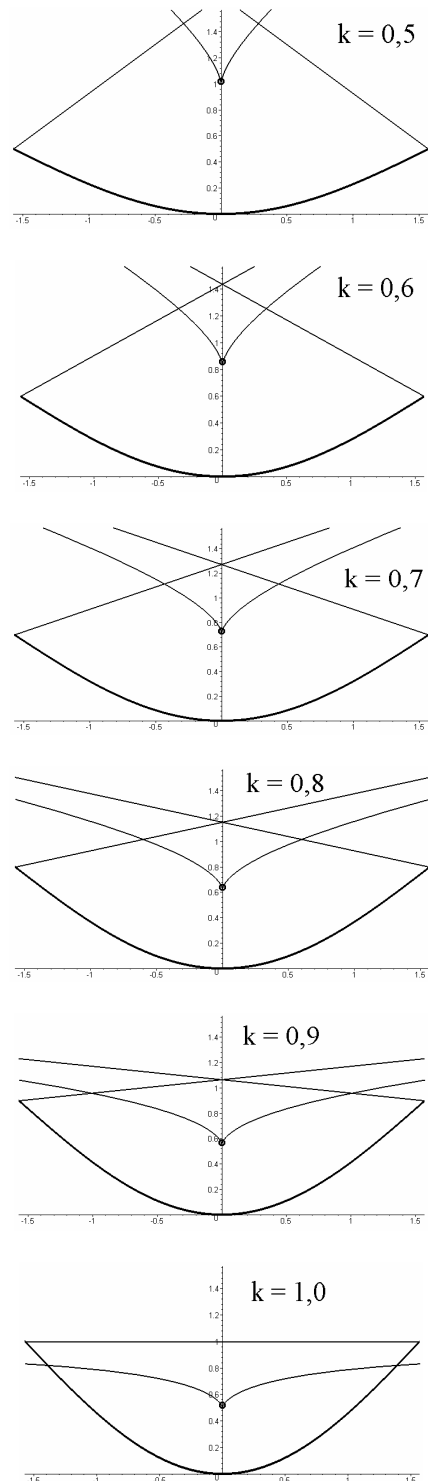


Рис. 3 – Обвідні променів, відбитих від синусоїди $y = k(1 - \cos x)$ в залежності від її кривизни k

Викладений аналітичний метод може бути застосовано до відбиваючих поверхонь інших форм. Подальша робота буде спрямована на те, щоб прийняти до уваги реальні геометричні параметри випромінювача (існуючої променевої системи), які одного порядку з відбивачем та моделюванням відбитих променів за заданим законом, який залежить від вимог до об'єкту.

Висновки. Аналіз результатів показав, якщо параметри згину листа довжиною L обчислювати за формулами $S = 0,9L$ і $H = 0,2L$, то відбивач буде функціонувати належним чином (спрямовувати промені паралельно) у разі розміщення джерела на рівні висоти згину H .

Таким чином було розглянуто рішення прямої задачі променевої теплопередачі, а саме встановлені параметри відбивальної системи у залежності від відомої форми відбивача.

Список літератури: 1. Тормосов Ю. М., Максимова М. О. Властивості синусоїди як відбивача променів тепла // Труды «Прикладна геометрія та інженерна графіка». – Мелітополь: ТГАТА, 2001. – В. 4. – С. 108–112. 2. Тормосов Ю. М. Про циліндричний відбивач, який забезпечить рівномірне нагрівання смуги площини // Труды «Прикладна геометрія та інженерна графіка». – Мелітополь: ТГАТА, 2001. – В. 4, Т. 12. – С. 74–79.

3. Фейман Р., Лейтон Р., Сандс М. Феймановские лекции по физике. Задачи и упражнения с ответами и решениями // Мир – Москва, 1969. – 624 с. 4. Куценко Л. М., Рева Г. В. Метод розрахунку відбивачів ударних вибухових хвиль для гасіння лісових пожеж // Проблеми пожежної безпеки, В. 2 – Харків: ХІПБ МВС України, 1998. – С. 19–24. 5. Рева Г. В., Куценко Л. М. Зображення фронту хвилі у відбивальній системі з точковим джерелом променів // Проблеми пожежної безпеки, юбил. в., Ч. 2. – Харків: ХІПБ МВД України, 1998. – С. 24–28. 6. Залгаллер В. А. Теория огибающих // Наука. – Москва, 1975. – 104 с.

Bibliography (transliterated): 1. Tormosov Y. M., Maksimova M. O. Vlastivost' sinusoYidi yak vldbivacha promeniv tepla // Trudy «Prikladna geometriya ta Inzhenerna grafika» – Melitopol: TGATA, 2001. – v. 4. – P. 108–112. 2. Tormosov Y. M. Pro tsilindrichniy vldbivach, yakiy zabezpechit rlvnomirne nagrivan'nya smugi ploschini // Trudy «Prikladna geometriya ta Inzhenerna grafika» – Melitopol: TGATA, 2001. – v. 4, t. 12. – P. 74–79. 3. Feyman R., Leyton R., Sands M. Feymanovskie lektzii po fizike. Zadachi i upravneniya s otvetami i resheniyami // Mir – Moscow, 1969. – 624 p. 4. Kutsenko L. M., Reva G. V. Metod rozrahunku vldbivachiv udarnih vibuhovih hvil' dlya gaslnnya lisovih pozhezh // Problemyi pozhezhnoy bezpeki, v. 4. – Kharkiv: HIPB MVS Ukrainyi, 1998. – P. 19–24. 5. Reva G. V., Kutsenko L. M. Zobrazhennya frontu hvil' u vldbival'ny sistem' z tochkovim dzherelom promeniv // Problemyi pozhar'noy bezopasnosti, Yubil. v., ch. 2. – Kharkov: HIPB MVD Ukrainyi, 1998. – P. 24–28. 6. Zalgaller V. A. Teoriya ogibayuschih. // Nauka – Moscow, 1975. – 104 p.

Поступила (received) 03.09.2015

Відомості про автора/ Сведения об авторе / About the Author

Максимова Марія Олександрівна, кандидат технічних наук, доцент, Національний університет цивільного захисту України, доцент кафедри пожежної профілактики в населених пунктах, тел. (057)707–34–38, e-mail: madadiro@mail.ru.

Maksimova Maria Aleksandrovna, candidate of technical Sciences, associate professor, National university of civil protection of Ukraine, associate professor of the Department of Fire prevention in settlements, phone: (057)707–34–38, e-mail: madadiro@mail.ru.

Гречка Ірина Павлівна – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри теорії і систем автоматизованого проектування механізмів і машин; тел. (057) 707–69–01; e-mail: Iri-@mail.ru.

Grechka Iryna Pavlivna – candidate of technical Sciences, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", associate professor of the Department "The theory and computer aided design of mechanisms and machines"; phone: (057) 707–69–01; e-mail: Iri-@mail.ru.